

KFK-247

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

September 1964

KFK 247

Institut für Experimentelle Kernphysik

Nichtintegrierender Verlängerer für Impulse von
20 mV bis 2,5 V Höhe und 6 bis 300 ns Länge

Christian Weddigen

Gesellschaft für Kernforschung m. b. H.
Zentralbibliothek

13. Nov. 1964



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

September 1964

KFK 247

Institut für
Experimentelle Kernphysik

Nichtintegrierender Verlängerer für Impulse von
20 mV bis 2,5 V Höhe und 6 bis 300 ns Länge

Christian Weddigen
T.H Karlsruhe

Gesellschaft für Kernforschung
Karlsruhe

Inhaltsangabe

	Seite
1. Einleitung	1
2. Beschreibung der Schaltung	4
2.1 Eingangsverstärker und Verlängerer	4
2.2 Tunneldiodengenerator	6
2.3 Hochohmiger Emitterfolger und Ausgangskreise	8
3. Ausführung	8
3.1 Mechanischer Aufbau	3
3.2 Schaltelemente	3
4. Prüfergebnisse	10
4.1 Impulsformen	10
4.2 Triggerverhalten, Tot- und Erholzeit	10
4.3 Linearität	12
4.4 Temperaturstabilität	13

Abstract: A fast non-integrating pulse stretcher with small dead time has been developed for 6 to 300 ns and 0,02 to 2,5 V negative input pulses. During the rise time of the input pulse the quiescent current of an emitter follower with capacitive load is interrupted for 1 μ s by a tunnel diode generator triggered by the input pulse. After this time, the quiescent current of the emitter follower discharges the load capacitor within less than 140 ns. Thus at this capacitor one gets a 1 μ s rectangular pulse with the same amplitude as that of the input pulse. Three outputs are available: positive and negative polarity adjustable up to ± 5.5 V maximum output pulse and the 1.2 V negative generator pulse. Linearity for input pulses between 0,1 and 2,5 V is better than 2 %. The temperature coefficient is less than $5 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$.

1. Einleitung

Der beschriebene Impulsverlängerer dient zur Darstellung von Spektren schneller Impulse unter Verwendung kommerzieller Vielkanalanalysatoren, deren analog-zu-digital-Konverter Impulslängen von etwa 1 μsec benötigen. Er arbeitet nach folgendem Prinzip: Während der Anstiegszeit des Eingangsimpulses wird über einen Transistor ein Kondensator (Ladekondensator) auf die maximale Impulshöhe aufgeladen. Gleichzeitig wird eine Tunnelodiengenerator getriggert, welcher den Ruhestrom des erwähnten Transistors für 1 μsec unterbricht. Anschließend wird der Ladekondensator mit dem Ruhestrom des Transistors wieder entladen. An dem Ladekondensator entsteht somit ein Rechteckimpuls von 1 μsec Länge, welcher proportional zur Amplitude des Eingangsimpulses ist.

Dieses Prinzip hat gegenüber anderen (z.B. integrierenden) Verlängerern im wesentlichen zwei Vorteile: Erstens führen hohe Impulsraten zu keiner Verfälschung der Impulsspektren. Fällt ein zweiter Impuls in die Erholzeit (1 μsec) des Verlängerers nach einem vorangehenden Impuls, so erhöht sich lediglich die Ansprechswelle des Tunnelodiengenerators. Während der Totzeit (im Mittel etwa eine Ausgangsimpulslänge) werden Eingangsimpulse nicht verlängert, danach jedoch sofort wieder in ihrer vollen Höhe. Dies ist wichtig, wenn man z.B. eine elektronische Apparatur bei hohen Impulsraten mit Hilfe eines Vielkanalanalysators testet oder einstellt. Auf Grund der Totzeit der analog-zu-digital-Konverter wird zwar unter Umständen nicht jeder Impuls in den Vielkanalanalysator einsortiert, die aufgenommenen Spektren gleichen jedoch denjenigen bei niedrigen Impulsraten.

Verwendet man hierfür einen herkömmlichen Diodenverlängerer, bei welchem der Ausgangsimpuls mit einem clipping-Kabel geformt wird, muß der RC-Abfall des verlängerten Impulses kurz sein gegenüber dem mittleren Impulsabstand. Fällt in diesen Abfall ein zweiter Impuls, so wird dieser nur mit der Differenz der Höhe der beiden Impulse hinter der Diode zur Zeit des Einfalles des zweiten Impulses übertragen. Dieser erscheint somit am Verlängerungsausgang zu klein. Bei einer erforderlichen Ausgangsimpulslänge kann man diese Impulsverfälschung (pile up) in tragbaren Grenzen halten, indem man den verlängerten Impulsen einen starken Dachabfall verleiht. Diese Impulsform ist jedoch nicht zu einer originalgetreuen Wiedergabe von Impulsspektren in Vielkanalanalysatoren geeignet, denn die analog-zu-digital-Konverter sprechen entweder auf die maximale Impulsamplitude oder aber auf die Impulshöhe an, welche nach einer fest vorgegebenen Zeit vorliegt, nach der der Eingangsimpuls eine gewisse Schwellenhöhe erreicht hat. Diese Nachteile besitzt der vorliegende Impulsverlängerer nicht. Er liefert Impulse mit flachem Dach.

Der zweite wesentliche Vorteil des Verlängerers liegt in seiner amplitudengetreuen Wiedergabe von Impulsspektren, und zwar unabhängig von dem zeitlichen Verlauf der Eingangsimpulse. Bei verschiedenen Anwendungen ist dies von Bedeutung. Bei einem im Institut entwickelten Flugzeit-zu-Impulshöhenkonverter besteht das Ausgangssignal aus dem Überlappungsintegral zweier zeitlich verschobener Rechteckimpulse. Es hat einen Anstieg mit vorgegebener konstanter zeitlicher Ableitung und einem kurzen RC-Abfall. Ein direktes Maß für die zu bestimmende Flugzeit ist die Amplitude, und nicht das Integral über den Ausgangsimpuls. Ein integrierender Impulsverlängerer

ist somit zur Darstellung des Flugzeitspektrums ungeeignet. Ferner kann beispielsweise in schnellen gates durch die amplitudenabhängige Ansprechzeit einer schnellen Koinzidenz, welche zum Triggern des gates verwendet wird, für kleine Impulse der Impulsanstieg, für große Impulse der Impulsabfall beschnitten werden - und dies, ohne die Impulsamplitude zu beeinflussen. Auch ist bei Photomultipliern und schnellen Verstärkern die Ausgangsimpulsform häufig amplitudenabhängig. Auch hier ergäben integrierende Impulsverlängerer verfälschte Spektren. Schließlich besitzt der Verlängerer durch seine amplitudengetreue Wiedergabe der Eingangsimpulse einen zulässigen Bereich von 6 bis 300 ns in der Eingangsimpulslänge und somit eine Flexibilität, welche bei vergleichbarer Linearität mit einem integrierenden Impulsverlängerer nur schwer erzielt werden kann.

Die vorliegende Schaltung ist für negative Eingangsimpulse ausgelegt. Die Triggerschwelle ist einstellbar von 15 mV bis 1,2 V. Drei Ausgänge liefern Rechteckimpulse von 1 µsec Länge, und zwar negativ und positiv, einstellbar von 0 bis $\pm 5,5$ V maximal, sowie negative Einheitsimpulse von 1,2 V Höhe. Die Linearität, bezogen auf den Ausgang bei 2,1 V Eingangsimpulshöhe, ist für Impulse zwischen 6 und 300 ns Länge und zwischen 0,1 und 2,5 V Höhe besser als 2 %. Bei 10 ns Impulslänge und darunter treten integrierende Effekte auf. Impulse unterhalb der Triggerschwelle werden amplitudengetreu wiedergegeben, jedoch mit einem minimalen Impulsabfall von 25 ns/V. Die Temperaturstabilität ist besser als 5×10^{-4} . Bei Ausfall der Versorgungsspannungen in beliebiger Kombination werden keine Schaltelemente zerstört.

2. Beschreibung der Schaltung

Der Impulsverlängerer (Figur 1) enthält einen Eingangsverstärker (T1) mit Emitterfolger T2, den eigentlichen Verlängerer (T3 mit Ladekondensator C1), einen hochohmigen rückgekoppelten Kaskadenemitterfolger (T5 bis T7) und den Tunneliodengenerator (T11, T12, D3 bis D6), welcher über den Schalter T4 den Ruhestrom von T3 während der Impulsverlängerung unterbricht. Die Ausgangskreise bestehen aus einer Phasenumkehrstufe (T8) und drei Ausgangsemitterfolgern T9, T10 und T13.

Im folgenden werden diese Kreise im Detail beschrieben.

2.1 Eingangsverstärker und Verlängerer

Der eigentliche Verlängerer besteht aus einem Emitterfolger T3 mit kapazitiver Last C1. T3 zieht über den Schalttransistor und den Widerstand R11 einen Ruhestrom von 2 mA, welcher für das schnelle Arbeiten von T3 erforderlich ist. Während des Impulsanstieges wird dieser Ruhestrom durch T4 unterbrochen und der Ladekondensator C1 aufgeladen. Fällt der Impuls an der Basis von T3 wieder ab, so schließt T3, und es steht die volle Impulsamplitude mit negativer Polarität zwischen Basis und Emitter. Damit die Spannung an C1 nun nicht wieder abfällt, muß der jetzt wirksame Emitterwiderstand von T3 groß sein. Der Schalter T4 dient also dazu, diesen Emitterwiderstand von seinem niederohmigen Wert ($R_{11} = 470 \Omega$) im Ruhezustand auf den hochohmigen Wert (Eingangswiderstand des Kaskadenemitterfolgers = $4 \text{ M}\Omega$) zu bringen.

An den Transistor T3 werden die folgenden Anforderungen gestellt:

1. Hohe Grenzfrequenz
2. Große Stromverstärkung zwischen 2 und 100 mA
3. Großer Innenwiderstand in abgeschaltetem Zustand und
4. gute Spannungsfestigkeit der Basis-Emitter-Strecke in Rückwärtsrichtung.

Der gewählte NPN-Si-Transistor MM 1711 wird diesen Anforderungen gerecht. Der Lastkondensator C1 wurde klein gehalten (50 pF), um den Arbeitsbereich von T3 nach Möglichkeit unterhalb des Überganges von kapazitivem zu induktivem Verhalten zu legen. Dieser Übergang verschlechtert die Linearität des Verlängerers.

Die Knickspannung der Basis-Emitter-Kennlinie für Si-Transistoren liegt bei 550 mV. Um T3 praktisch zu schließen, genügt es, seine Basis-Emitter-Spannung auf 450 mV zu verkleinern. Die Differenz (etwa 100 mV) tritt an C1 auch dann auf, wenn man ohne Eingangsimpulse den Ruhestrom von T3 unterbricht. Für sehr kleine Eingangsimpulse besteht dadurch eine Nichtlinearität des Verlängerers von 100 mV an C1. Sie fällt um so weniger ins Gewicht, je höher die maximale Impulsamplitude an der Basis von T3 ist. Diese wird jedoch durch die Durchschlagfestigkeit (6,5 bis 8,5 V) der Basis-Emitter-Strecke von T3 in Rückwärtsrichtung begrenzt. Für negative Eingangsimpulse bis zu 2,1 V werden somit die Verstärkung (etwa 3-fach) und Phasenumkehr des Eingangsverstärkers (T1) durch die Eigenschaften des Verlängerertransistors T3 bestimmt.

Die Zenerdiode D1 schützt T1 gegen zu hohe Emitter-Kollektor-Spannung, die Widerstände R6 und R3 verhindern Überspringen von T2 und T3 (wie entsprechend auch die übrigen Basiswiderstände der Emitterfolger).

Wird der Schalter T4 nach 1 μ sec wieder leitend, so entlädt sein Querstrom i den Ladekondensator C1 mit einer Geschwindigkeit von $C1/i = 50 \text{ pF} / 2\text{mA} = 25 \text{ ns/V}$ bis T3 wieder leitend wird. Mit dem gleichen Impulsabfall werden kurze Eingangsimpulse unterhalb der Triggerschwelle übertragen.

Einen typischen Impuls an C1 zeigt die Figur 6e.

2.2 Tunnelodiengenerator

Der Tunnelodiengenerator besteht aus dem eigentlichen Generator D6, L, R41 bis R43, dem Limiterverstärker (T12) und einer Eingangskombination (D3, D4 und T11).

Im Ruhezustand sind die Dioden D3 und D4 leitend, die Tunneldiode D6 zieht einen Ruhestrom i_{oD6} (Arbeitspunkt 1 in Figur 2). Ein positiver Impuls am Emitter von T2 vermindert den Strom durch die Diode D4. In gleichem Maß nimmt der Tunneldiodenstrom zu, da der Gesamtstrom i_{oL} von D4 und D6 durch die Induktivität L zunächst konstant bleibt. Sobald der Schaltstrom (5 mA) der Tunneldiode erreicht ist, springt diese in ihren hochohmigen Zustand (Punkt 2). (Die genaue Lage von Punkt 2 auf der Tunneldiodenkennlinie hängt von dem Schaltverhalten von D4 und dem Impulsanstieg ab). Der damit verbundene Spannungssprung wird in T12 verstärkt und sperrt über den Schalter T4 den Ruhestrom von T3. Gleichzeitig wird über R40 der Kollektorstrom und damit der Spannungsabfall an R38 erhöht. Hierdurch wird die Diode D4 gesperrt und die Tunneldiode geht über in den Arbeitspunkt 3 (Figur 2). Für kleine Eingangsimpulse ist auch D3 geschlossen, wodurch eine Rückwirkung des Generators über T11 auf den Verlängerer verhindert wird. Der Widerstand

R38 dient zur Entkopplung. Für große Eingangsimpulse bleibt die Diode D3 zunächst geöffnet. Sie sehen die Kollektor-Basis-Diode von T11 offen, deren niedriger und stromabhängiger Widerstand ohne R38 die Kennlinie des Verlängerers verschlechtern würde.

Der Tunnelndiodenstrom nimmt nun mit der Zeitkonstante L/R allmählich von 3 nach 4 in Figur 2 ab, wobei R gegeben ist durch (Figur 3)

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{D5}} + \frac{1}{R_{D6} + R_{43}} \quad (1)$$

Hierbei sind die Diodenwiderstände R_{D5} und R_{D6} arbeitspunktabhängig. Hat der Generator angesprochen, so ist die Backwarddiode niederohmig, so daß $R \approx R_{D5}$ gilt und die Abklingzeit L/R groß wird. Ist die Tunneldiode in den niederohmigen Zustand zurückgesprungen (Punkt 5 in Figur 2), wird die Backwarddiode hochohmig und der Tunnelndiodenstrom nimmt seinen Ausgangswert mit einer kurzen Einstellzeit $L/(R_{D6} + R_{43})$ ein. Vorher gelangt die Tunneldiode durch das Öffnen von D4 in den Arbeitspunkt 6. Der Übergang von Punkt 6 nach 1 in Figur 2 bestimmt die Tot- und Erholzeit des Impulsverlängerers. Die Backwarddiode dient also zur Verbesserung des Verhältnisses (Impulslänge/Erholzeit). Die Figur 4 zeigt schematisch den zeitlichen Verlauf der Spannung an D6 mit (a) und ohne (b) Backwarddiode. In beiden Fällen ist die Erholzeit die gleiche.

Die Potentiometer R34 und R42 dienen zur Einstellung des Ruhestromes i_{OD4} und des Fußpunktes U_1 der Widerstandsgereaden in Figur 2. Sie arbeiten nicht anabhängig voneinander. Ihre Einstellung bestimmt die Triggerschwelle und wird in Abschnitt 4.2 beschrieben.

2.3 Hochohmiger Emitterfolger und Ausgangskreise

Der dreistufige rückgekoppelte Emitterfolger (T5 bis T7) konventioneller Bauart hat einen Eingangswiderstand von etwa 4 M. Die Diode D2 verbessert die Abklingzeit des verlängerten Impulses am Emitter von T5 und ist im Ruhezustand geschlossen. Am Potentiometer R20 wird die maximale Ausgangsamplitude (0 bis 5,5 V) eingestellt. Der Kondensator C2 vor der Umkehrstufe (T8) dämpft den Anstieg der Ausgangsimpulse, welcher zum Überspringen neigt. Seine Wirksamkeit hängt von der Einstellung an R20 ab (siehe Figur 6 f bis i).

Die Ausgänge der Ausgangsemitterfolger T9, T10 und T13 sind durch Widerstände R31, R32 und R51 an ein am anderen Ende offenes 50 Ω -Kabel angepaßt (hochohmiger Eingang am analog-zu-digital-Konverter).

3. Ausführung

3.1 Mechanischer Aufbau

Der Verlängerer ist in einem 1/8-Einschub konventioneller Bauart (ESONE-Norm) auf einer Platine von 10 x 11,5 cm² in gedruckter Schaltung aufgebaut. Das Potentiometer R20 ist von der Frontplatte aus zu betätigen. Einen Schaltplan für eine Rasterplatine, der demjenigen der gedruckten Schaltung gleicht, zeigt die Figur 5.

3.2 Schaltelemente

Es wurden ausnahmslos 1/8 Watt-Widerstände und Einlötpotentiometer verwendet. Bei der Auswahl der Kondensa-

toren ist nur auf Spannungsfestigkeit zu achten. Die Induktivität L wurde erhalten durch Anbringen von 7 Windungen (Cu-Draht, 0,6 mm Ø) an einen Ferritkern von 6 x 4 x 1 mm³ Länge x Außendurchmesser x Wandstärke (Mullard FX115, 3D3-Material).

Die verwendeten Transistoren und ihre Hersteller sind

1 x 2N1141	Motorola	T1
1 x 2N706A	"	T2
5 x MM1711	"	T3, T5 bis T8
1 x 2N709	Ferranti	T4
1 x 2N1307	Texas Instruments	T9
1 x 2N1306	"	T10
2 x 2N769	Sprague	T11, T12
1 x Af121	Valvo	T13

Davon sind besonders auszusuchen:

T3 auf gleichmäßige Stromverstärkung zwischen 2 und 100 mA und Spannungsfestigkeit der Basis-Emitter-Spannung von mehr als 6,5 V in Rückwärtsrichtung.

T4 auf Spannungsfestigkeit von annähernd 11 V bei 2 mA

T5 auf hohe Stromverstärkung im µA-Bereich.

Die verwendeten Dioden und ihre Hersteller sind:

1 x Z4	z.B. Valvo, Intermetal	D1 (Zenerdiode),
3 x 1N4009	General Electric	D2 bis D4 (Si-Diode)
1 x IK100/B	SAF	D5 (Si-Backwarddiode)
1 x AEY11	"	D6 (Tunnel diode)

4. Prüfergebnisse

4.1 Impulsformen

Die Figuren 6 a bis i zeigen Impulsformen in der Verlängererschaltung und zwar an den folgenden Orten:

Fig. 6

- a Eingang
- b Generatorimpuls an Tunnelodiode D6
- c Impuls zwischen R42, D5, L und R43
- d Basis von T4, zugleich Ausgang 3
- e verlängerter Impuls an C1
- f,g Ausgang 2 für zwei Stellungen von R20
- h,i desgleichen für Ausgang 1

Die flachen Impulsausläufer in den Figuren 6 f bis i rühren von dem hochohmigen Emitterfolger her und verschwinden bei kleineren Impulsen. Bei starker kapazitiver Last (langes Kabel) wird der Anstieg der Ausgangsimpulse verzerrt.

4.2 Triggerverhalten, Tot- und Erholzeit

Das Einstellen der Triggerschwelle anhand der Potentiometer R34 und R42 erfolgt auf folgende Weise:

- 1) Bei 1 V Eingangsimpulsen (negativ) wird R34 in Mittelstellung gebracht und R42 ganz aufgedreht ($R42 = 500 \Omega$). Nach Einschalten der Versorgungsspannungen wird R42 bis kurz vor Einsetzen des selbständigen Schwingens des Generators verkleinert: Triggerschwelle ≈ 100 mV.
- 2) Der Abgriff von R34 wird in Richtung - 6 V gedreht, ebenfalls bis kurz vor dem Schwingen des Generators: Triggerschwelle ≈ 15 mV.

Durch Feinabgleich von R42 und R34 kann die empfindlichste Generatoreinstellung gefunden werden.

In Figur 7 ist die minimale Schwellenimpulshöhe $U_{\text{Schw.min}}$ am Eingang in Abhängigkeit von dem Impulsabfall RC bei etwa 3 ns Impulsanstieg aufgetragen. Läßt man bei dieser empfindlichsten Einstellung das Potentiometer R42 in der gleichen Stellung und dreht R34 ganz in Richtung + 6 V, so findet man die ebenfalls dargestellte maximale Schwellenimpulshöhe $U_{\text{Schw.max.}}$. Durch Ändern der Einstellung von R42 kann die Impulslänge innerhalb 30 % verändert werden, dies jedoch unter Verlust an Empfindlichkeit.

Das Verhalten des Verlängerers gegenüber kurzen Impulsabständen wurde mit Hilfe eines Doppelimpulsgenerators mit 50 ns-Rechteckimpulsen geprüft. Die Form der Ausgangsimpulse ist in Figur 8 skizziert. Haben zwei Eingangsimpulse einen zeitlichen Abstand, welcher kleiner als $t_0 + t_1$ ist, so wird der zweite Impuls nicht verlängert. Wird die so definierte Totzeit t_1 gerade überschritten, so haben beide Ausgangsimpulse im Rahmen oszillographischer Genauigkeit die gleiche Höhe, die Länge t_2 des zweiten Impulses ist jedoch für große Impulse kleiner als die ($t_0 = 0,95 \mu\text{sec}$) des ersten. Die Figur 8 zeigt die Abhängigkeit von t_1 und t_2 von der Eingangsimpulshöhe U_e . Man sieht, daß mit abnehmenden Impulsabstand die Triggerschwelle zunimmt.

Definiert man die Erholzeit als die Zeit gerechnet vom Abfall des ersten Ausgangsimpulses, nach der die Länge des zweiten Impulses die des ersten erreicht ($t_2 = t_0$), so erhält man

$$\text{Erholzeit} = 1,1 \times t_0 = 1,05 \mu\text{sec.}$$

(Für kleine Impulse ist sie kleiner als die Totzeit).

4.3 Linearität

Die Linearität des Impulsverlängerers wurde unter Verwendung eines RC-Impulsgenerators mit eingebautem Hg-Schalter, eines TMC 400-Kanal-Analysators (Modell 404) und eines Oszillographen (Tectronix, Modell 535) gemessen.

Zunächst wurden kurze RC-Impulse auf den Verlängerer gegeben und dessen Ausgangsimpulshöhe anhand der Kanalnummer im TMC in Abhängigkeit von der Heliopot-Einstellung am Impulsgenerator bestimmt. Anschließend wurde eine Eichkurve aufgenommen, in dem 10 μ sec-RC-Impulse direkt auf dem TMC gegeben werden. Mit Hilfe variabler Abschwächer wurde die Eichkurve bei einer bestimmten Helipoteinstellung genau auf die Kanalnummer des Verlängererausganges bei kurzem Eingangsimpuls und gleicher Helipot-Einstellung angepaßt. Nichtlinearitäten des Impulsgebers und des TMC mitteln sich bei diesem Verfahren optimal heraus. Für beide Messungen wurde die Helipotskala bei zwei Einstellungen mit dem Oszillograph geeicht.

In der Figur 9 ist die Kennlinie für Impulse mit 10 ns Anstieg und 30 ns RC-Abfall bei einer mittleren Einstellung von R20 in üblicher Weise aufgetragen. Die Triggerschwelle war auf 20 mV eingestellt. Für Eingangsimpulse oberhalb $U_e = 0,2$ V liegen die Abweichungen der Kennlinie von einer Geraden im Rahmen der Zeichengenauigkeit. Diese Abweichungen sind in der Darstellung derselben Kennlinie in Figur 10 besser zu erkennen. Hier ist die Linearität, definiert als die relative Abweichung

$$\frac{U_a}{U_a(2,1 \text{ V})} = \frac{U_a(U_e) - \frac{U_a(U_e = 2,1 \text{ V})}{2,1 \text{ V}} \times U_e}{U_a(U_e = 2,1 \text{ V})}$$

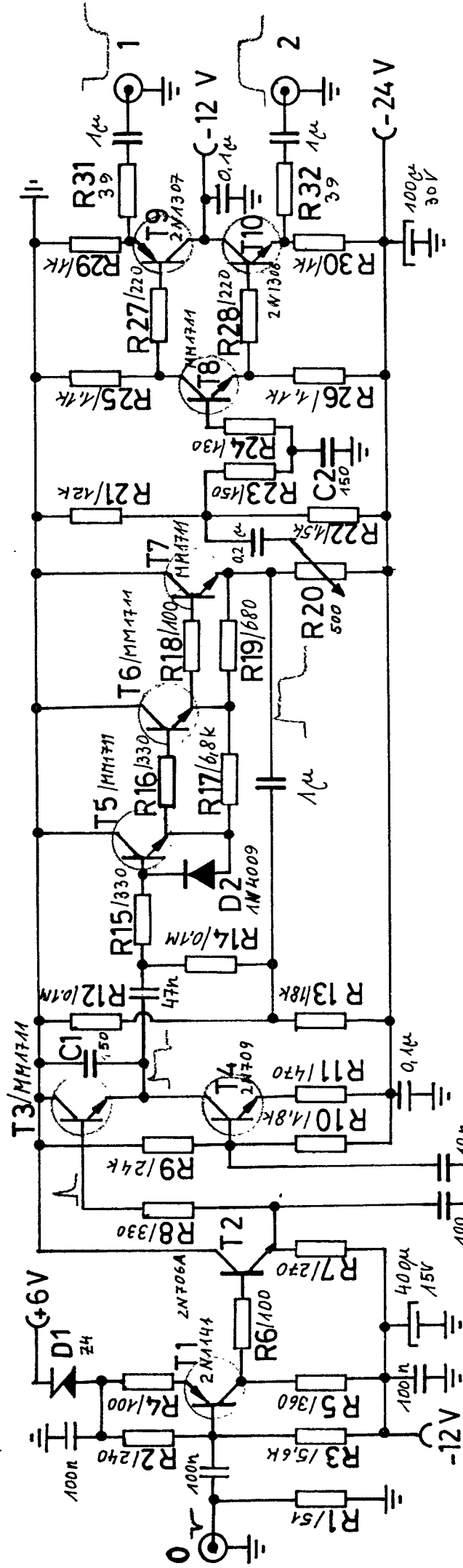
von der Geraden $U_a = (U_a(2,1 \text{ V})/2,1 \text{ V}) \times U_e$ durch den Ursprung, aufgetragen. Man sieht, daß die Linearität bezogen auf eine Ausgleichsgerade besser ist als $\pm 0,5 \%$ für Eingangsimpulshöhen U_e zwischen 70 mV und 2,3 V.

In den Figuren 11 a bis e ist auf gleiche Weise und bei derselben Potentiometereinstellung an R20 die Linearität für verschiedene Abklingzeiten RC der Eingangsimpulse bei einem Impulsanstieg von etwa 3 ns dargestellt. Der Abfall der mittleren Verstärkung $U_a(2,1 \text{ V})/2,1 \text{ V}$ auf 0,980 in Figur 11 a ist signifikant: Für Eingangsimpulse von etwa 10 ns Halbwertsbreite ist der Verlängerer-transistor zu träge und die Schaltung beginnt als integrierender Verlängerer zu arbeiten.

4.4 Temperaturstabilität

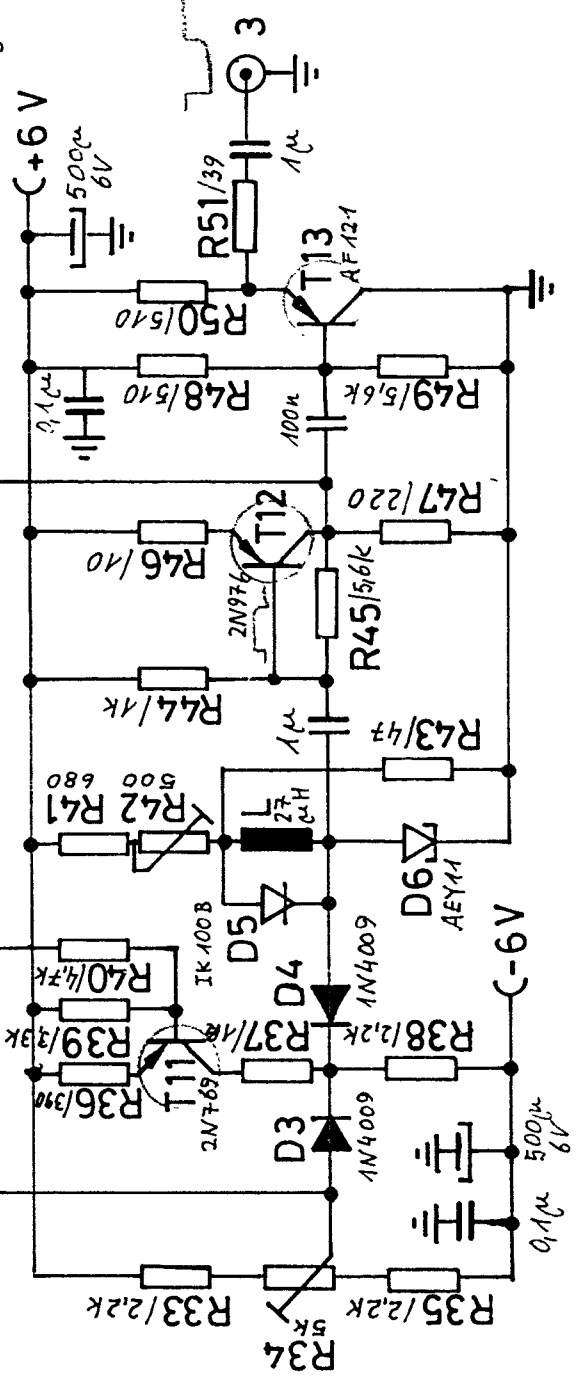
Die Temperaturstabilität wurde bei 1 V Eingangsimpulshöhe zwischen 30 und 50° C untersucht. Der Temperaturkoeffizient ergab sich zu $(3,85 \pm 0,95) \times 10^{-4}/^\circ \text{C}$.

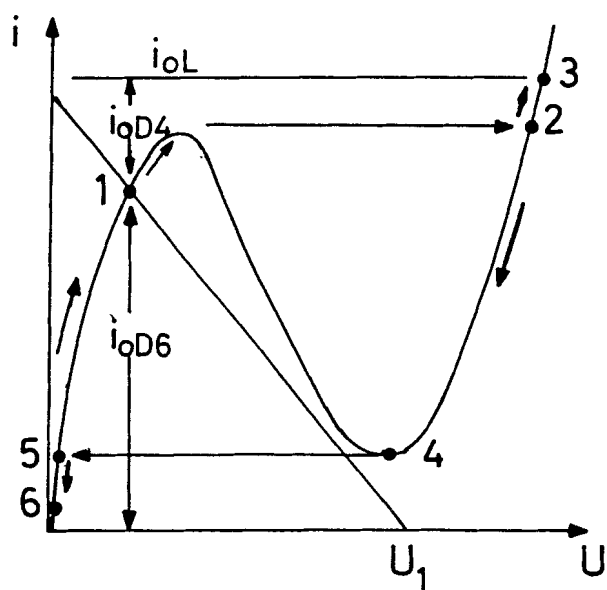
Herrn Dr. Brückmann, Herrn Dipl.-Phys. Eichelberger und Herrn Dr. Hasse danke ich für aufschlußreiche Diskussionen



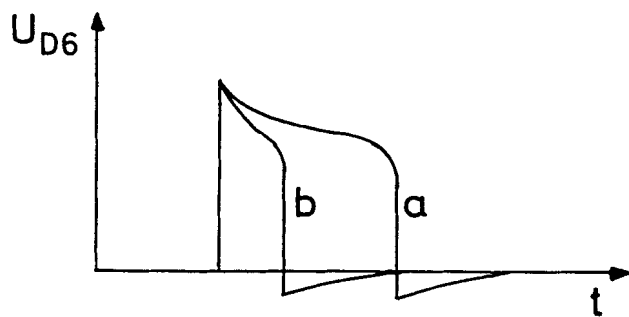
IMPULSVERLÄNGERER

Figur 1:

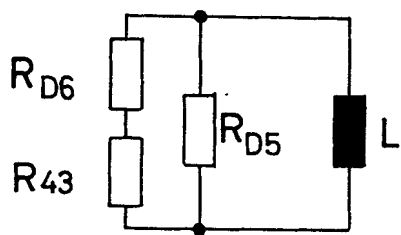




Figur 2: Arbeitsweise der Tunnel diode.
 i_0 = Ruhestrom durch die Diode
 D 4, die Tunnel diode D 6 und
 die Induktivität L.

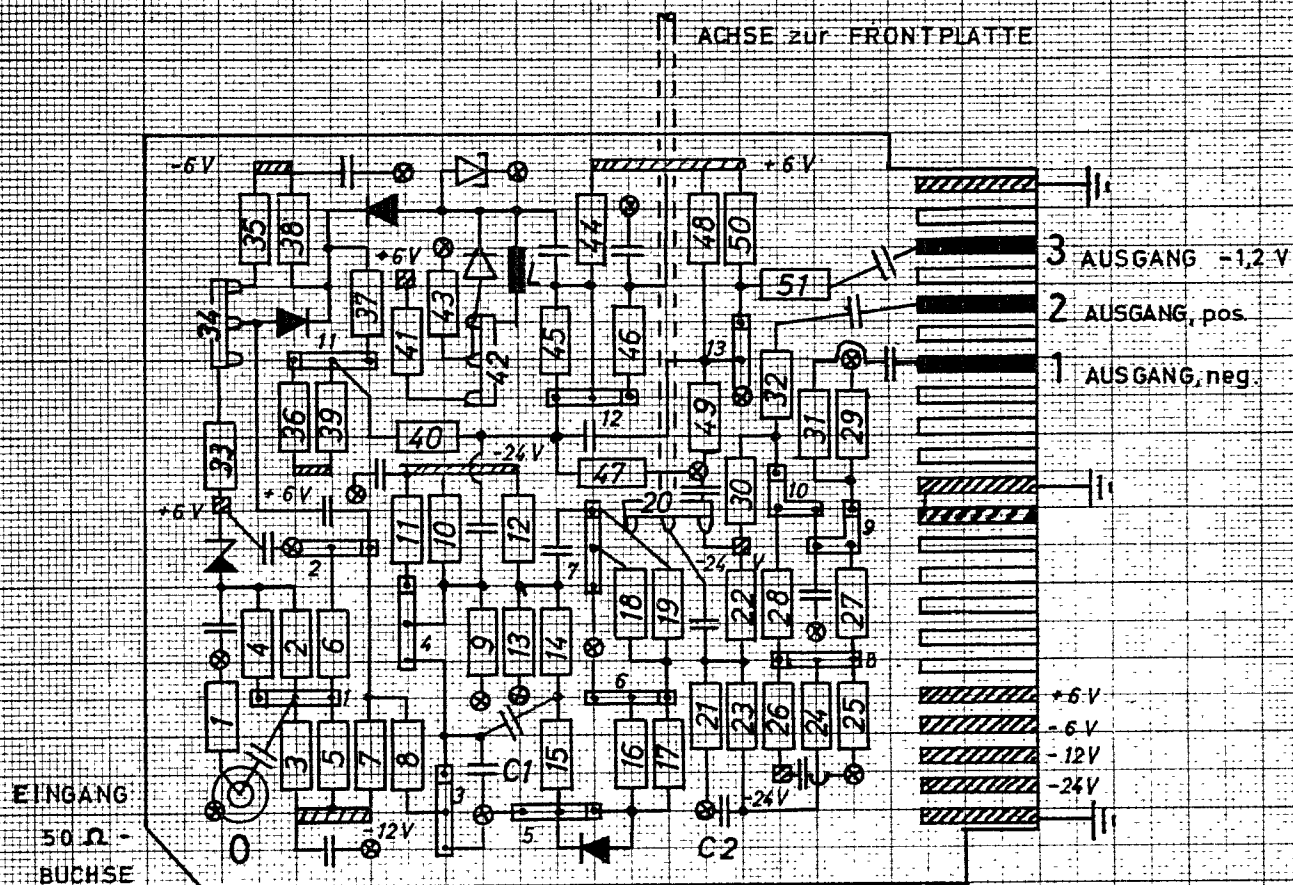


Figur 4 : Impuls an der Tunnel diode.
 a= mit, b= ohne Backward-
 diode.

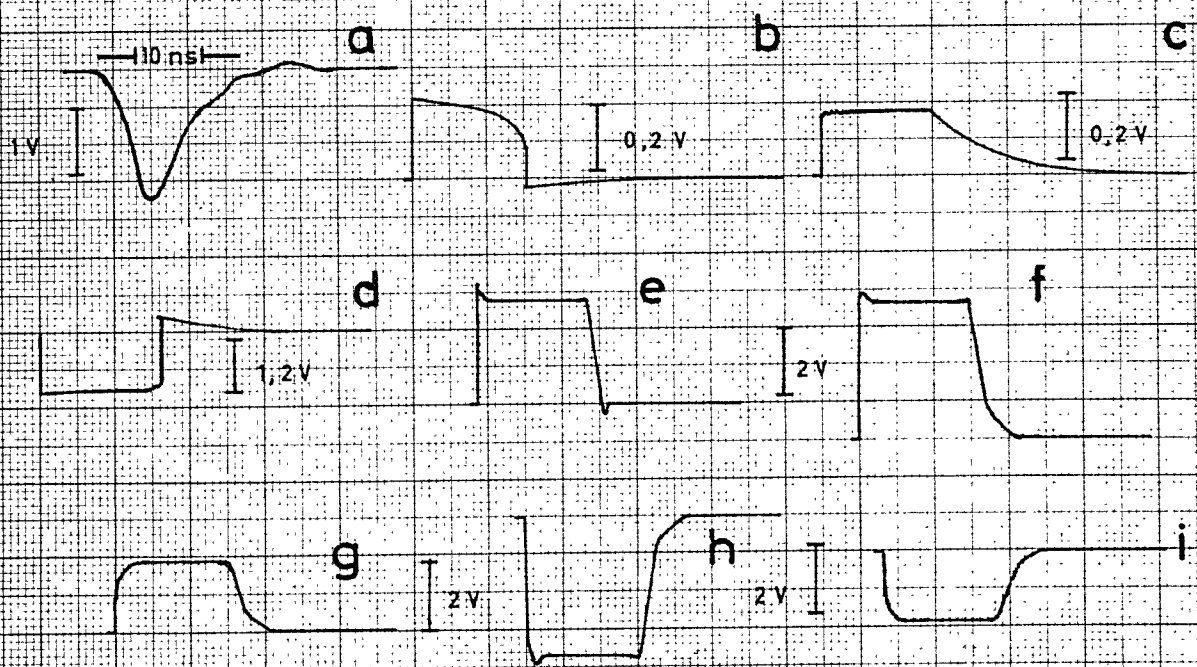


Figur 3: Zu Gleichung (1)

Erklärung $\boxed{12}$ = R 12 , $\frac{9}{6}$ = T9 , hatched box = Versorgungsspannung
 \otimes = Masse

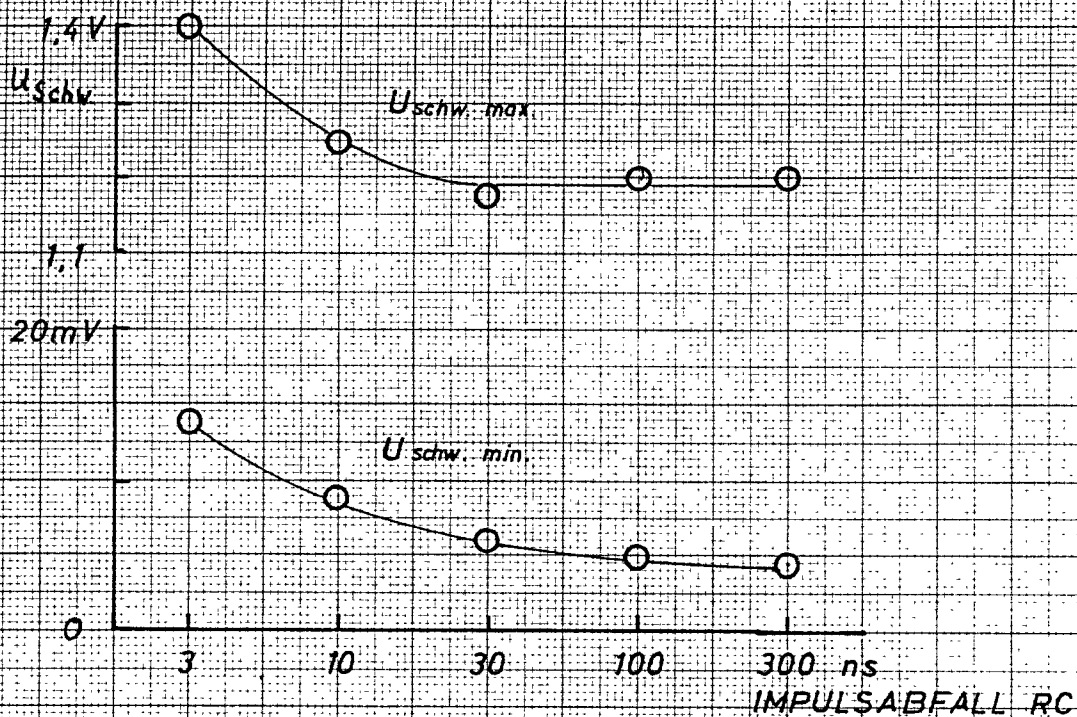


Figur 5 Schaltschema

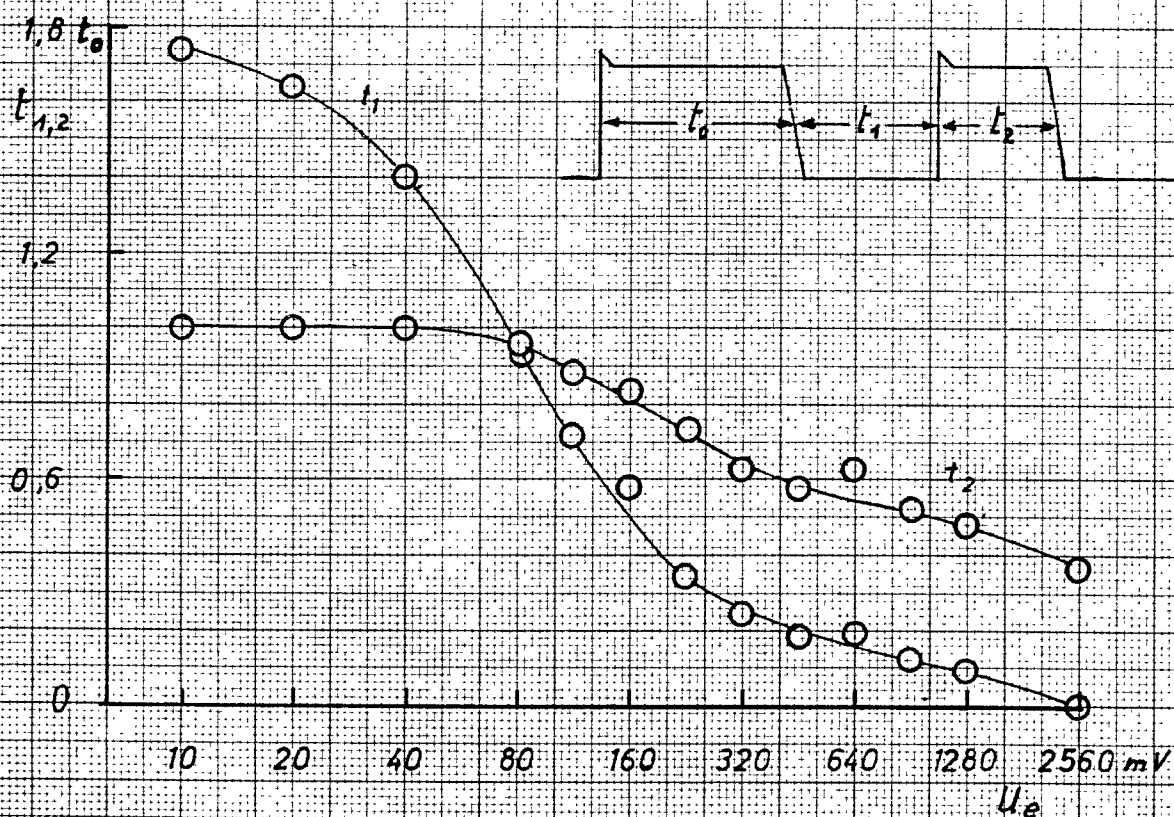


Figur 6 Impulsformen. Erläuterungen siehe Abschnitt 4.1

Zeitablenkung für b. bis i: $1 \mu\text{s} / 10 \text{ mm}$.

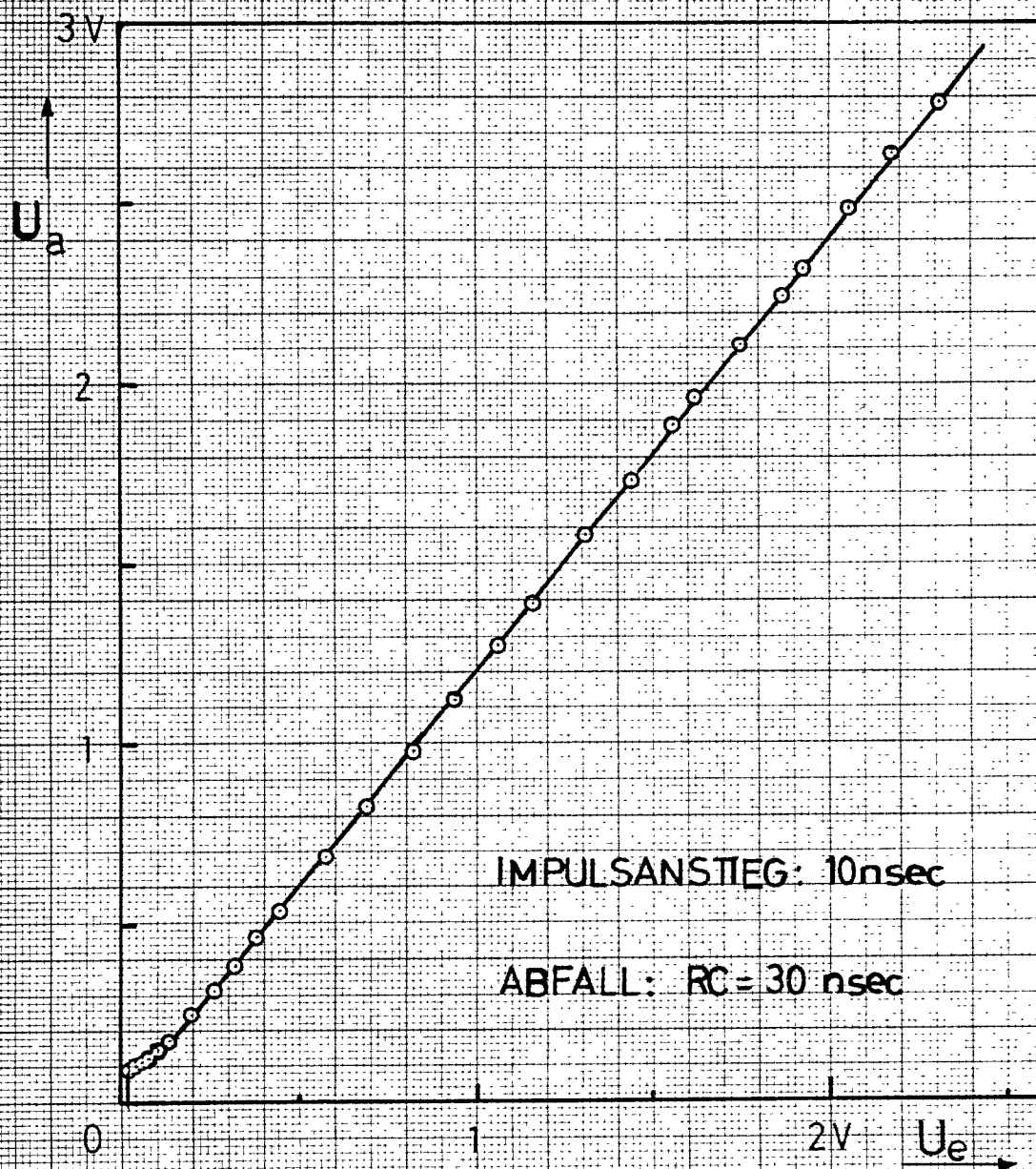


Figur 7: Maximale und minimale Triggerschwelle in Abhängigkeit von dem Impulsabfall bei ca. 3 ns Anstiegszeit.

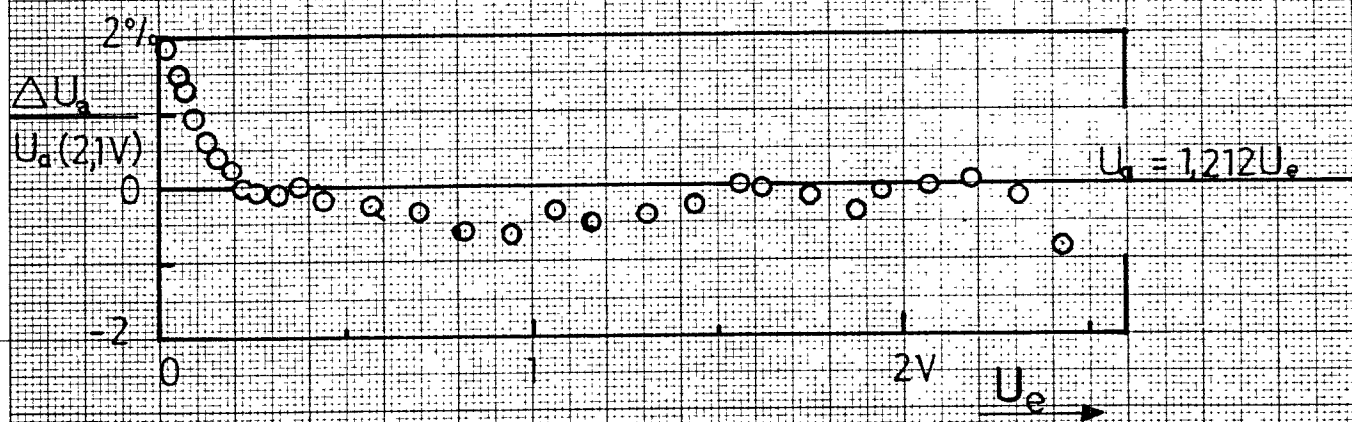


Figur 8: Verhalten des Verlängerers bei kurzen Impulsabständen.

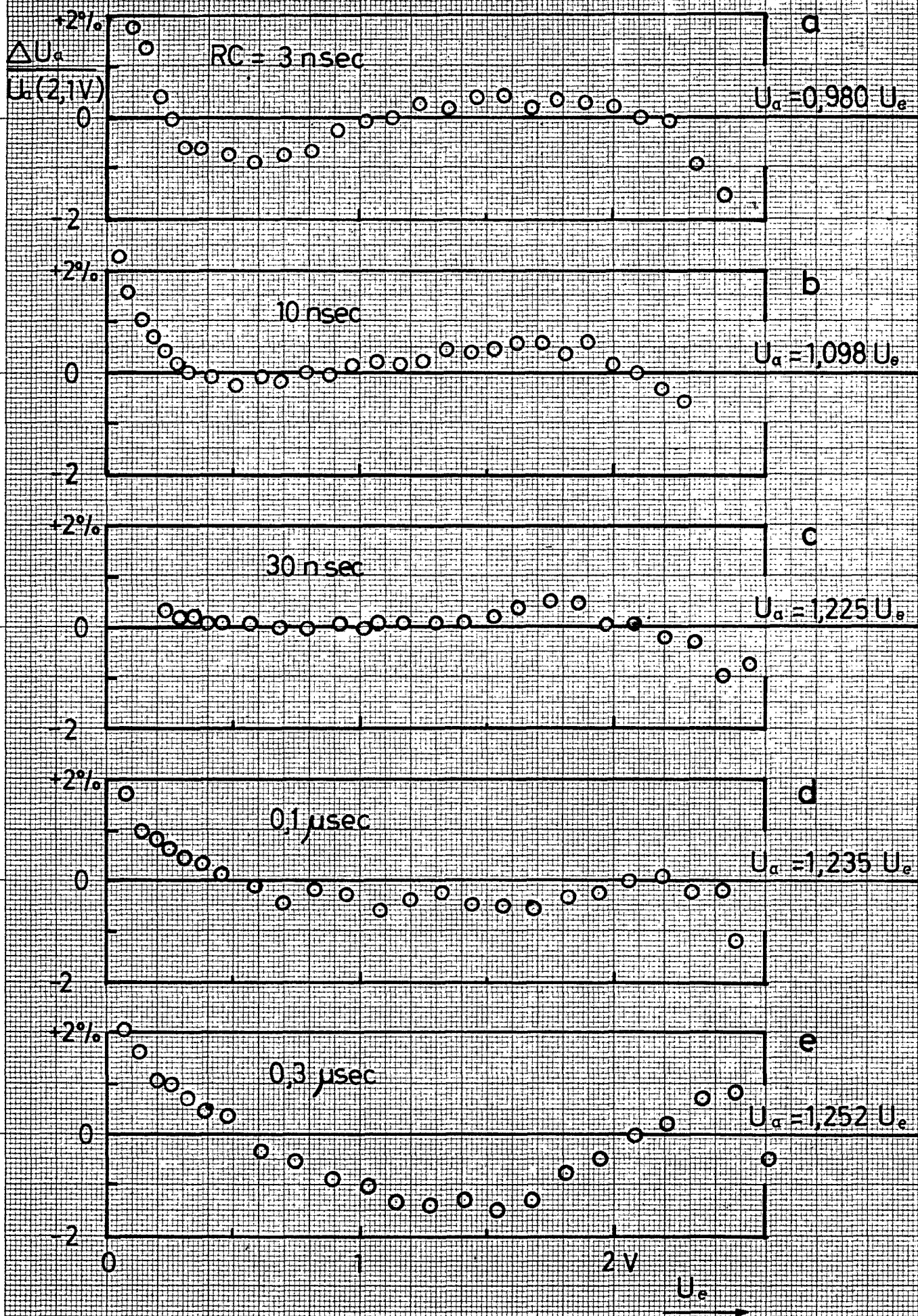
$t_0 = 0.95 \mu s$, $t_1 = \text{Totzeit}$



Figur 9: Kennlinie des Verlängerers.



Figur 10: Die gleiche Kennlinie wie in Fig. 9.
Aufgetragen ist die relative Abweichung
des Ausganges von einer Geraden $U_a = \text{const} \times U_e$



Figur 11a-e: Wie Fig.10, jedoch für einen Impulsanstieg von ca. 3 ns und einer Abklingzeit RC zwischen 3 und 300 ns.